

# **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA  
DEL DUCTO DE TRANSFERENCIA DE  
PETRÓLEO YUCA - CULEBRA DEL CAMPO  
AUCA Y SU INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL  
DE LA TUBERÍA SEGÚN LA NORMA API 570.”**

---

Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Estudio  
Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero  
Industrial

**AUTOR:**

Alex Danilo Herrera Salazar

**TUTOR:**

Ing. Mauricio Salas; Mg

**AMBATO – ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del trabajo de grado: “ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL DUCTO DE TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO YUCA - CULEBRA DEL CAMPO AUCA Y SU INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL DE LA TUBERÍA SEGÚN LA NORMA API 570.”, presentado por el ciudadano Alex Danilo Herrera Salazar, CERTIFICO, que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

Ambato marzo del 2017

---

Ing. Mauricio Salas; Mg

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO**

El presente trabajo de investigación: “ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL DUCTO DE TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO YUCA - CULEBRA DEL CAMPO AUCA Y SU INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL DE LA TUBERÍA SEGÚN LA NORMA API 570.”, es absolutamente original, auténtico y personal; en tal virtud el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo del 2017

---

Alex Danilo Herrera Salazar

CI: 0502779606

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Alex Danilo Herrera Salazar, declaro ser autor del Estudio Técnico, titulado “ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL DUCTO DE TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO YUCA - CULEBRA DEL CAMPO AUCA Y SU INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL DE LA TUBERÍA SEGÚN LA NORMA API 570.”, como requisito para optar al grado de “Ingeniero Industrial”, autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 14 días del mes de marzo del 2017, firmo conforme:

**Autor:** Alex Danilo Herrera Salazar

**Firma:**

**Número de Cédula:** 0502779606

**Dirección:** Tahuantinsuyo y Puruhaes

**Correo Electrónico:** Danilo\_Herrera@petroamazonas.ec

**Teléfono:** 032101116 - 0983742213

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

El Informe de Investigación Científico, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previa la obtención del Título de Ingeniero Industrial por lo tanto autorizamos al postulante a la presentación a efectos de su sustentación pública.

Ambato, marzo del 2017

.....

Ing. Pedro Muzo

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

.....

Ing. Isabel Quinde

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

.....

Ing. Leonardo Sánchez

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DEDICATORIA**

A mi hijo Mateo Gabriel Herrera Mena que es la inspiración de mi vida.

A mi esposa que ha sido mi soporte para culminar este estudio.

A mis padres que siempre han confiado en mí.

A mis hermanos y amigos que son mi apoyo en mi desarrollo personal y laboral.

Alex Herrera

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme seguir cumpliendo mis objetivos.

A mi esposa, mis padres, hermanos, compañeros y amigos que me apoyan incondicionalmente.

A mi tutor Ing. Mauricio Salas, quien con su acertada dirección me permitió culminar este estudio.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

Portada .....	i
Certificación.....	ii
Autoría del trabajo de grado.....	iii
Autorización para reproducción o publicación del documento. ....	iv
Aprobación del tribunal de grado.....	v
Dedicatoria .....	vi
Agradecimientos .....	vii
Índice general de contenidos.....	viii
Índice de tablas.....	xi
Índice de Figuras .....	xii
Índice de anexos.....	xiii
Resumen Ejecutivo .....	xiv
Summary .....	xv



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

Tema: .....	1
Introducción: .....	1
Situación problemática: .....	4
Antecedentes: .....	5
Justificación: .....	8
Objetivos: .....	9
Objetivo General: .....	9
Objetivos específicos: .....	9

## CAPITULO II

### METODOLOGÍA

Área de estudio: .....	11
Enfoque de la investigación: .....	11
Justificación de la metodología: .....	11
Población y muestra: .....	12
Diseño de trabajo: .....	17
Procedimientos para la obtención y análisis de datos: .....	19
Hipótesis: .....	19
Señalamiento de Variables: .....	19

## CAPITULO III

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

1.Evaluación de Integridad Mecánica: .....	21
PASO 1. Cálculo del espesor para la presión de operación: .....	21
PASO 2. Espesor estructural: .....	24
PASO 3. Selección del mínimo espesor necesario para el servicio: .....	24
2.Cálculo de Velocidad de corrosión: .....	25
Espesor inicial (t inicial): .....	26
Espesor actual (t actual ): .....	26
3.Cálculo de la vida útil: .....	28

CAPITULO IV  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis: .....	36
Interpretación de resultados: .....	37
Contraste con otras investigaciones: .....	38
Verificación de la hipótesis:.....	39

CAPITULO V  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones: .....	44
Recomendaciones: .....	45
Bibliografía: .....	46
Anexos: .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable Independiente: Integridad Mecánica del ducto. ....	17
Tabla 2. Operacionalización variable dependiente: vida útil de la tubería. ....	18
Tabla 3. Tabla de recolección de datos .....	19
Tabla 4. Datos técnicos del ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra. ...	20
Tabla 5. Ejemplos de tensiones admisibles como referencia en sistemas de tuberías dentro del alcance del código ASME B31.4 .....	22
Tabla 6. Datos para el cálculo del espesor para la presión interna de la tubería de transferencia Yuca – Culebra. ....	23
Tabla 7. Table 6 – Minimum Thicknesses for Carbon and Low-alloy Steel Pipe.....	24
Tabla 8. Espesor mínimo requerido para el ducto de transferencia Yuca – Culebra del Campo Auca. ....	25
Tabla 9. Espesor nominal tuberías del ducto de transferencia Yuca – Culebra. ....	26
Tabla 10. Datos para el cálculo de la tasa de corrosión del ducto de transferencia Yuca – Culebra; tramo 27.....	27
Tabla 11. Datos para el cálculo de la tasa de corrosión del ducto de transferencia Yuca – Culebra del Campo Auca; Tramo 27. ....	29
Tabla 12. Resumen de evaluación de integridad, velocidad de corrosión y vida útil ducto de transferencia Yuca – Culebra (puntos bajos). ....	30
Tabla 13. Escala de interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.....	40
Tabla 14. Resumen de sumatorias para el cálculo del coeficiente de Pearson .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problema, daños en la integridad del ducto de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca.....	4
Figura 2. Informe de Inspección mediante ultrasonido año 2009.....	14
Figura 3. Informe de Inspección mediante ultrasonido año 2016.....	15
Figura 4. Segmentación Dinámica. ....	16
Figura 5. Evaluación de integridad del ducto de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca. ....	32
Figura 6. Evaluación de vida útil del ducto de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca. ....	33
Figura 7. Evaluación gráfica del coeficiente de correlación de Pearson.....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1:** Evaluación de integridad, velocidad de corrosión y vida útil ducto de transferencia Yuca - Culebra.

**Anexo 2:** Trazado de la tubería de transferencia Yuca - Culebra del Campo Auca (longitud total 16795 m).

**Anexo 3:** Glosario.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTAD DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL DUCTO DE  
TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO YUCA – CULEBRA DEL CAMPO AUCA  
Y SU INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL DE LA TUBERÍA SEGÚN LA  
NORMA API 570.”

Autor: Alex Danilo Herrera Salazar

Tutor: Ing. Mauricio Salas

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio involucra el análisis de Integridad mecánica de la tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra perteneciente al Campo Auca, mediante el cálculo de los espesores de presión de operación y el espesor estructural, obteniendo el espesor mínimo requerido para el servicio de transporte de hidrocarburo según criterios de los códigos API 570, API 574 y ASME B31.4, este valor de espesor de pared de la tubería es comparado con espesores medidos mediante ultrasonido en tramos del ducto, para identificar cuáles son las secciones que se encuentra operando dentro de los parámetros recomendados según el código de inspección de tuberías en servicio API 570; posteriormente estos valores de espesor tomados en el año 2016 mediante ultrasonido son utilizados para el cálculo de Velocidad de corrosión, que servirán finalmente para calcular la Vida útil de la tubería, identificando a lo largo del ducto probables mecanismos de falla en cada tramo inspeccionado de acuerdo a los valores obtenidos; además evalúa la incidencia que tiene la integridad mecánica del ducto en la vida útil de las tuberías mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson.

**Palabras Clave:** API 570, Integridad mecánica, Velocidad de corrosión, Vida útil.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTAD DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DEL DUCTO DE  
TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO YUCA - CULEBRA DEL CAMPO AUCA  
Y SU INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL DE LA TUBERÍA SEGÚN LA  
NORMA API 570.”

Autor: Alex Danilo Herrera Salazar

Tutor: Ing. Mauricio Salas

**SUMMARY**

The present study analyzes the Mechanical integrity of the "Yuca - Culebra" oil transfer pipeline in the "Auca" Field by calculating the operating pressure thicknesses and the structural thickness and obtaining the minimum thickness required for the hydrocarbon transport service, according to following criteria API 570, API 574 and ASME B31.4. This pipe wall thickness value is compared to ultrasonic thickness measured in pipeline sections to identify which sections are operating within the recommended parameters according to the inspection code of pipes in service API 570. After that, these thickness values taken in the year 2016 by ultrasound are used for the calculation of Corrosion rate, which will at the end serve to calculate the Useful life of the oil pipeline. In fact, this will help to determine the probable failure mechanisms in each section inspected accordingly to the obtained values. Also, this study evaluates the incidence of mechanical integrity of the pipeline in the useful life of the pipes by calculating the Pearson correlation coefficient.

**Keywords:** API 570, Corrosion rate, Mechanical integrity, Useful life.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **Tema:**

“Estudio de la integridad mecánica del ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca y su incidencia en la vida útil de la tubería según la Norma API 570.”

#### **Introducción:**

Según Aníbal Gonzales (2010) gracias al desarrollo de la industria química a mediados del siglo XIX el petróleo se ha convertido en la principal materia prima, junto con esta dependencia, en el mundo se ha venido desarrollado progresivamente una red de transporte mediante tuberías denominadas oleoductos, gaseoductos y poliductos, que son el sistema más eficiente y económico para transferir y suplir el consumo de petróleo y sus derivados.

El periódico español El País (1994) afirma que uno de los oleoductos más largos construidos con aproximadamente 4.000 km y una capacidad de 1,4 millones de barriles de petróleo es el Druzhba que interconecta todo el país de Rusia desembocando en el océano Indico, Mar Mediterráneo, llegando hasta Alemania y Polonia; en 1994 en el río Pechora situado en Komi, república de Rusia, se produjo la fuga de alrededor de dos millones de barriles de petróleo según Greenpeace catalogándolo como el mayor derrame de petróleo ocurrido en el mundo debido a las afectaciones ambientales, operacionales, sociales y económicas; y que según fuentes de empresas extranjeras, el mayor problema se



debe a la falla de la integridad mecánica de la tubería causada por el deterioro de las paredes internas resultado de la vejez de las tuberías del oleoducto.

Ep. Petroecuador afirma que (Ep Petroecuador, 2015) en el Ecuador el 26 de junio de 1972, se inauguró el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano con una capacidad de transporte inicial de 250.000 BPPD (barriles de petróleo por día) para un crudo de 30° API. El costo de construcción fue de USD 117 millones y se amortizó en 14 años. Actualmente, el SOTE tiene una valoración de USD 941 millones de dólares.

En el marco de la XVI Feria ECUADOR OIL & POWER, evento que reúne a los principales actores del sector hidrocarburífero a nivel nacional, el Ing. José Sánchez, Subgerente de Oleoductos de la Gerencia de Transporte, presentó una charla magistral sobre los 43 años de operación del SOTE, y destacó que con una capacidad de transporte de 360.000 BPPD, una longitud de tubería de 497,72 kilómetros y una potencia instalada de 101 150 caballos de fuerza en sus seis estaciones de bombeo el Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano constituye una de las infraestructuras más importantes del país.

Durante su intervención, José Sánchez resaltó que el Oleoducto, inició sus operaciones en 1972 y hasta agosto de este año transportó 4.509'107.667 barriles de petróleo. El Oleoducto Transecuatoriano realizó su primera exportación de 308.283 barriles de un crudo de 28.1° API a un precio de 2,34 dólares el barril.

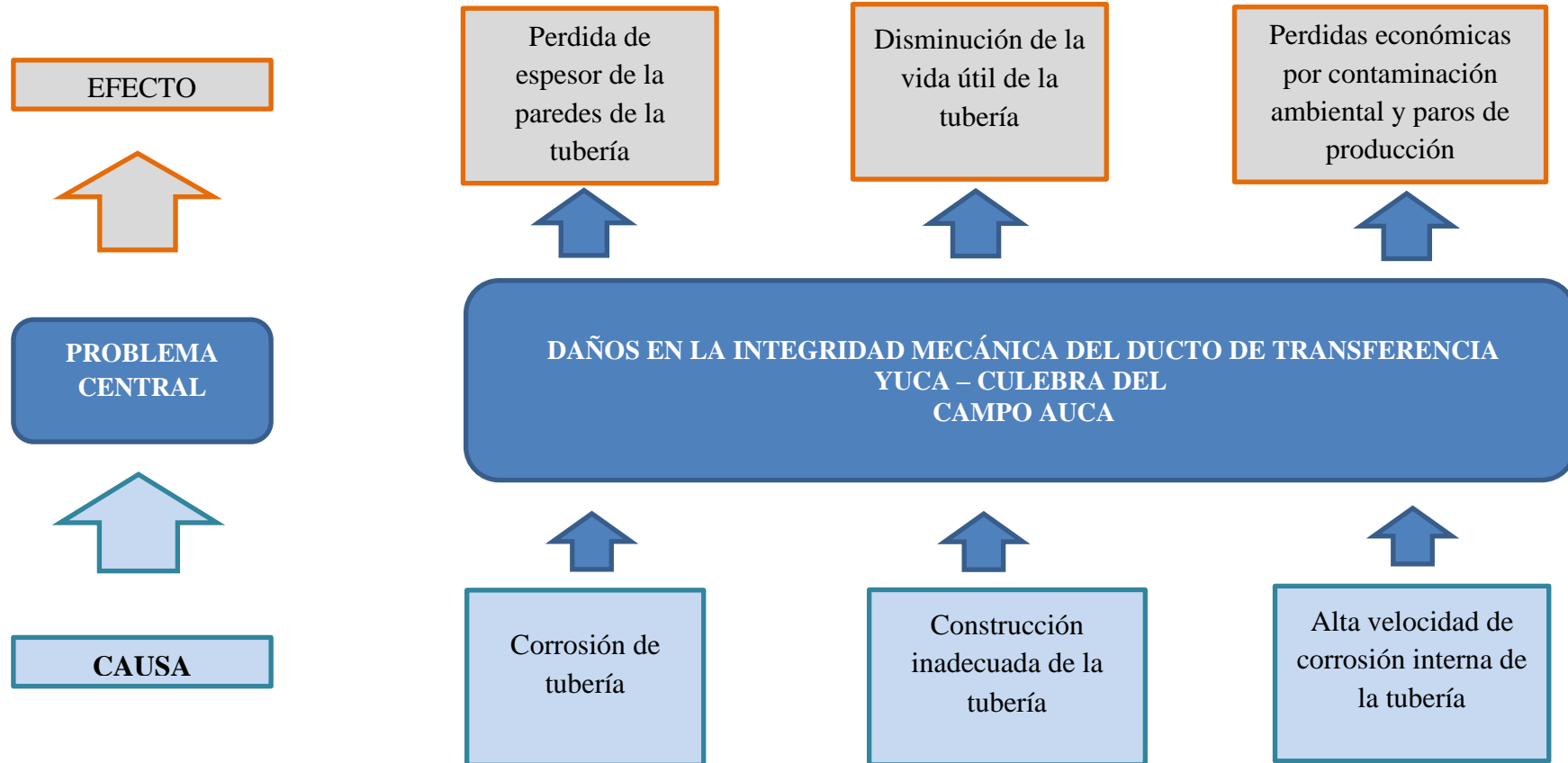
Sánchez explicó que de acuerdo al contrato con TEXACO, el SOTE debía revertir al Estado Ecuatoriano en 1985; esta acción se postergó hasta el 1 de marzo de 1986, fecha en la cual el Oleoducto pasó a ser propiedad absoluta del estado. El proceso de reversión representó para el Estado un ingreso adicional de 30 millones de dólares por año, considerando un volumen de 100 millones de barriles que debía transportar en promedio este ducto. El 1 de octubre de 1989, PETROTRANSPORTE asumió las operaciones del SOTE con personal nacional.

En la actualidad, el SOTE posee una capacidad de transporte de 360.000 BPPD para crudo de 23.7° API.

La empresa Ep. Petroecuador asegura que en estos 43 años, el Oleoducto ha operado eficientemente, gracias a las evaluaciones de integridad mecánica que han permitido se realice un mantenimiento preventivo y correctivo oportuno para prolongar la vida de este ducto, estimando su vida útil en 30 años.

La tubería de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca inicia su trazado en las bombas de transferencia de Estación Yuca Central y empata a la tubería de transferencia Auca - Sacha (dentro de la estación Culebra), este ducto está construido con tubería API 5L Grado B de 8 inch de diámetro y posee una longitud de 16 kilómetros; atravesando, ríos, pantanos, zonas boscosas, comunidades indígenas y sectores poblados por colonos; en la actualidad el ducto transporta aproximadamente 15.000 barriles de petróleo diarios (BLD). Para sustentar las operaciones de la tubería en el año 2009 se elabora un estudio de integridad mecánica determinando que la vida útil de esta tubería es de 11,36 años, y debido a la velocidad de corrosión de 0,006 inch por año se determina que la tubería estará apta para el servicio hasta el 10 de enero del 2021.

**Situación problemática:**



**Figura 1.** Árbol de problema, daños en la integridad del ducto de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca.

**Elaborado por:** Alex Herrera S.

La corrosión de las tuberías generalmente se presenta porque el agua que acompaña el petróleo presenta un alto contenido de agentes contaminantes, entre los que sobresalen los cloruros y sulfatos con concentraciones en el orden de 15.000 a 35.000 mg/litro (Echeverría, 2015) por esta razón se categoriza a este fluido como “aguas salobres” semejantes al agua de mar, las características de este fluido propicia daños en la tubería, manifestada en los ensayos no destructivos como pérdidas de espesor en las paredes de las tuberías.

En la fase de construcción de las tuberías, la selección de los materiales es de importancia relevante, deben considerarse varios aspectos como: la presión de operación, costos, disponibilidad del material y requerimientos de operación, porque junto con estos factores, las prácticas de construcción inadecuada de las tuberías vienen acompañadas por el incumplimiento de las normas aplicables para operación ductos, propiciando la existencia daños prematuros en la integridad mecánica, evitando que la tubería cumpla con el tiempo de vida útil.

Un acelerado proceso de corrosión interna tiene como consecuencia pérdidas del espesor de las paredes de la tubería afectando directamente la integridad de los ductos, ocasionando fallas en las tuberías que originan pérdidas económicas, contaminación ambiental y paralización de las operaciones, requiriendo reparaciones emergentes mediante refuerzos mecánicos y cambios no programados de tubería.

### **Antecedentes:**

Estudio realizado por los Señores Michael Patricio Campoverde Nolivos, Marco Francisco León Dunia (2010), con el tema: “Diseño E Implementación De Un Modelo De Plan De Integridad De Ductos En El Bloque 15 de Petroamazonas Ep.”, con las siguientes conclusiones:

- El Plan de Integridad de Ductos desarrollado para PAM por ser el primer trabajo de tesis en la Escuela Politécnica Nacional que se enfoca en el análisis

de gestión de riesgos de ductos que transportan fluidos de alta peligrosidad como el crudo, es el trabajo precedente y base para la realización de posteriores estudios dentro de la universidad.

- La elaboración del Plan de Integridad de Ductos para PAM ha ayudado a resolver una necesidad de la industria ecuatoriana sin requerir la intervención de entes extranjeros y promoviendo de esta manera al desarrollo del país.
- El desarrollo del Diseño e Implementación del Plan de Integridad de Ductos para PAM EP está basado en normas técnicas y regulaciones internacionales encargadas de regular el transporte de fluidos de alta peligrosidad.
- Por medio del Plan de Integridad de Ductos para PAM, se generarán elevadas ganancias económicas y se obtendrán altos niveles de reconocimiento a la empresa operadora debido a la intervención proactiva por parte del personal para mitigar riesgos que de una u otra manera afecten el medio ambiente que lo rodea, y a la salud de personas pertenecientes y ajenas a la empresa.
- Las leyes ecuatorianas que regulan las tuberías de transporte de fluidos peligrosos como el crudo, al momento no contienen las regulaciones necesarias para la aplicación de planes de integridad de ductos.
- El Modelo Básico de Plan de Integridad de Ductos solo es el primer paso para la implementación de un sistema de integridad de ductos que debe incluir el manejo administrativo, económico operativo y técnico de los ductos, con el fin de garantizar una operación segura.
- El conocimiento, compromiso y responsabilidad que tengan las autoridades de PAM son fundamentales para el desarrollo de toda la estructura del Sistema de Gestión de Integridad de Ductos.

El trabajo del señor Jorge Yasksetin Castillo (2011) “Análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico” de la Universidad de Piura, con las conclusiones:

1. Este análisis de naturaleza muy específica que permitió conocer el estado tensional de un tramo de un ducto transportador de hidrocarburo resultó de mucha utilidad para el operador del ducto.
2. En efecto si la tensión en el material del ducto hubiera alcanzado el 70% de la fluencia debería haber sido reemplazado todo ese tramo.
3. El reemplazo de ese tramo de ducto habría costado al operador del ducto cerca de 250000 dólares.
4. El método de la relajación de tensiones es una técnica que requiere mucho cuidado En esta aplicación, única en el Perú, resultó de gran utilidad para el operador.
5. La aplicación del software de análisis por elementos finitos el ALGOR en este caso ayudó a corroborar los resultados del ensayo experimental.
6. Por último cabe decir que el uso de las técnicas experimentales y las técnicas computacionales convenientemente utilizadas ayudan a solucionar problemas complejos de ingeniería.
7. Nuestras experiencias dan pie a iniciar futuras investigaciones sobre el particular.

Estudio realizado por señor Geovany, Tixi (2013): “Análisis de integridad física del poliducto Libertad-Manta de Petrocomercial mediante el envío de la herramienta chanco inteligente”, de la Universidad Tecnológica Equinoccial con las siguientes conclusiones:

- A la presión de operación actual de 1487 psi establecida para el poliducto, hay un defecto que falla el criterio establecido para presión segura teniendo en cuenta el factor de seguridad correspondiente, además ,hay 3 indicaciones de pérdida de metal externas que tiene una profundidad reportada de 80%.
- La máxima presión de operación permitida (MAOP) reportada de 1487 psi corresponde a un nivel detención del 54% de SMYS para el tubo de menor pared reportada ( 5,56mm) ,lo que indica que esta tubería está calificada con una MAOP dentro del límite que fijan las Normas.
- Las 3 indicaciones de pérdida de metal mencionadas deben ser investigadas Inmediatamente de igual forma las 11 indicaciones con profundidad reportada mayor al 60% que están incluidas en el plan de excavación surgida, con las fechas límite para investigarlas y las tasas de corrosión interna y externa adoptadas son conservadoras y algunas indicaciones externas deberán ser investigadas en los próximos 5 años.

### **Justificación:**

El estudio es original porque toma las evaluaciones realizadas mediante ultrasonido industrial como base para la ejecución de cálculos de integridad mecánica, utilizando el procedimiento descrito en los códigos aplicables para tuberías de transporte de hidrocarburos API 570, API 574 y ASME B31.4.

La importancia de la investigación radica en el análisis de la vida útil de la tubería de transferencia Yuca - Culebra, para identificar los daños a largo del ducto y mediante el mantenimiento preventivo precautelar la transferencia de producción de petróleo generada en los Campos Yuca, Yulebra, Anaconda y Culebra, reduciendo el riesgo de derrame en las áreas de operación, que pudieran acarrear consecuencias ambientales, sociales y económicas.

Los beneficiarios directos del actual estudio es el Estado ecuatoriano y los pobladores de las zonas aledañas a la operación de Petroamazonas Ep, porque el estudio de integridad mecánica permite tomar decisiones en función de disminuir el riesgo de derrames de petróleo, asegurando una transferencia diaria de 15.000 barriles diarios de petróleo, que son un aporte importante para el Presupuesto Nacional.

La investigación es factible porque Petroamazonas Ep. permite el acceso a las fuentes bibliográficas como, inspecciones técnicas del estado actual (de la tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del Campo Auca) y los procedimientos aprobados por la empresa para la evaluación técnica de la integridad, basados en los códigos internacionales API 570, API 574 y ASME B31.4. para la evaluación mecánica de tuberías

El estudio propuesto es de utilidad práctica debido a que servirá como modelo para la evaluación de integridad mecánica de las tubería de transferencia de crudo en el Campo Auca, estrategia que será aprovechada para la implementación de planes de integridad que busquen la oportunidad de mejora continua en las Operaciones de Petroamazonas Ep.

### **Objetivos:**

#### **Objetivo General:**

“Estudiar la integridad mecánica del ducto de transferencia Yuca - Culebra del Campo Auca y su incidencia en la vida útil de la tubería según la norma API 570.”

#### **Objetivos específicos:**

- Evaluar la integridad mecánica de la tubería mediante los datos obtenidos en la medición de espesores a través de ultrasonido.



- Determinar la vida útil de la tubería de acuerdo a los lineamientos del código de inspección de tuberías API 570.
- Demostrar qué tramos de la tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del Campo Auca son críticos mediante la evaluación de integridad mecánica y vida útil.

## **CAPITULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **Área de estudio:**

<b>Dominio:</b>	Tecnología y Sociedad.
<b>Línea de investigación:</b>	Empresarialidad y Productividad
<b>Campo:</b>	Mantenimiento.
<b>Área:</b>	Técnica tecnológica.
<b>Aspecto:</b>	Evaluación de Vida útil.
<b>Objeto de estudio:</b>	Integridad mecánica y vida útil
<b>Período de análisis:</b>	agosto 2016 – marzo 2017.

#### **Enfoque de la investigación:**

El estudio tiene un enfoque predominantemente cuantitativo, porque utiliza registros de la empresa Petroamazonas Ep., como base para el análisis de la integridad mecánica, como: velocidades de corrosión y vida útil del ducto de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del Campo Auca. Además utiliza mediciones de espesor con ultrasonido, tabuladas en los reportes de inspección realizados en los años 2009 y 2016.

#### **Justificación de la metodología:**

La presente investigación es de campo porque la información relacionada con los espesores de la tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del campo Auca será recopilada en la fuente primaria, que en este caso es el trazado de la tubería desde la Estación Yuca hasta la estación Culebra (Anexo 2).

El estudio es de carácter Bibliográfico – Documental, porque la información es obtenida de fuentes bibliográficas como: libros, manuales, tesis, reportes diarios de producción, además toma la metodología para la evaluación de integridad de los códigos internacionales para inspección y diseño de tuberías API 570, API 574 y ASME B31.4

Igualmente posee un carácter exploratorio porque es un estudio no realizado anteriormente en el Campo Auca, ya que toma como base de datos los reportes de los años 2009 y 2016, análisis que permitirá generar un modelo para el estudio y valoración de la integridad mecánica, la velocidad de corrosión y la vida útil de la tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del campo Auca.

Además el estudio es de tipo descriptivo porque busca especificar características de la tubería y trazar perfiles del comportamiento de la corrosión interna en la tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del campo Auca

Y se aplica la investigación del tipo correlacional por que evalúa la relación existente entre la integridad mecánica, la velocidad de corrosión y la vida útil de la tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del campo Auca.

### **Población y muestra:**

En esta investigación se toma como universo de estudio la segmentación de la tubería de transferencia Yuca- Culebra del Campo Auca, proporcionada en los reportes de inspección de ultrasonido del año 2009 (359 tramos) y del año 2016 (403 tramos). De estos datos se toma como muestra 319 tramos porque las abscisas (coordenadas longitudinales) de la tubería coinciden en los dos reportes.

El ejemplo de un dato de la muestra utilizada es la abscisa 0+ 135 porque esta coordenada longitudinal es igual en los reportes de inspección de los años 2009 y 2016.

En la Figura 2, reporte de inspección del año 2009 se muestra la abscisa 0+ 135 identificada como tramo 2 y en la Figura 3, reporte de inspección del año 2016 se muestra la abscisa 0+ 135 identificada como tramo 5.

Los valores restantes de espesor son descartados por que sus abscisas no coinciden en los reportes de inspección de los años 2009 y 2016 además porque según el código de inspección de tuberías API 570, para calcular la velocidad de corrosión y análisis de la vida útil, se requiere que los valores de medición de espesor sean realizados en diferentes años pero en las mismas abscisas del ducto.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la segmentación dinámica sugerida por el código de inspección de tuberías API 574.



Petroproducción  
Inspección Técnica

## INSPECCION VISUAL Y MEDICION DE ESPESORES DE TUBERIA EN EL D.A.

Fecha: 09/10/29

Página: 1

Línea YUC 0 CU YUCA-CULEBRA  
Fecha de inspección 2009/09/01  
Responsable inspección UC-HN UFREDO CALDERON / HERNAN NOBOA  
Inspección anterior 2007/03/01  
Campo AUCA  
Estación YUCA  
Longitud 16847 MTS  
Producto CRUDO

Tipo de línea Transferencia  
Número de tramos 394  
Diámetro 8 5/8"  
Material API 5L GRADO B 28.55 LB/FT.  
Presión 550 PSI  
Espesor inicial 0.322" Terminología  
Espesor de retiro 0.133" Crv: Curva  
Temperatura 100 °F

Tramo	Longitud m	P med m	Esp. min	Diámetro	Ubicación	Corr/Ext	Protección	Aboll	Maleza	OBSERVACIONES
1	6	0					POLIKEN			1 Inicia despues de válvula, ubicada en caseta de bombas ACT / codo=340, se entierra en Est. Yuca Central / Long. 76,78645
2	6	135					POLIKEN			1 Desentierra hasta válvula
3	10	142								1 Después de válvula / A 3m. De tramo Bypass / Sin operar fuera de servicio
4	10	163								1Crv
5	10	179	0,290	8 5/8"	BASE					1 Curva Terminado tramo tubo al piso / Levantar

135  
Tramo 2  
Abscisa 0+135

**Figura 2.** Informe de Inspección mediante ultrasonido año 2009.

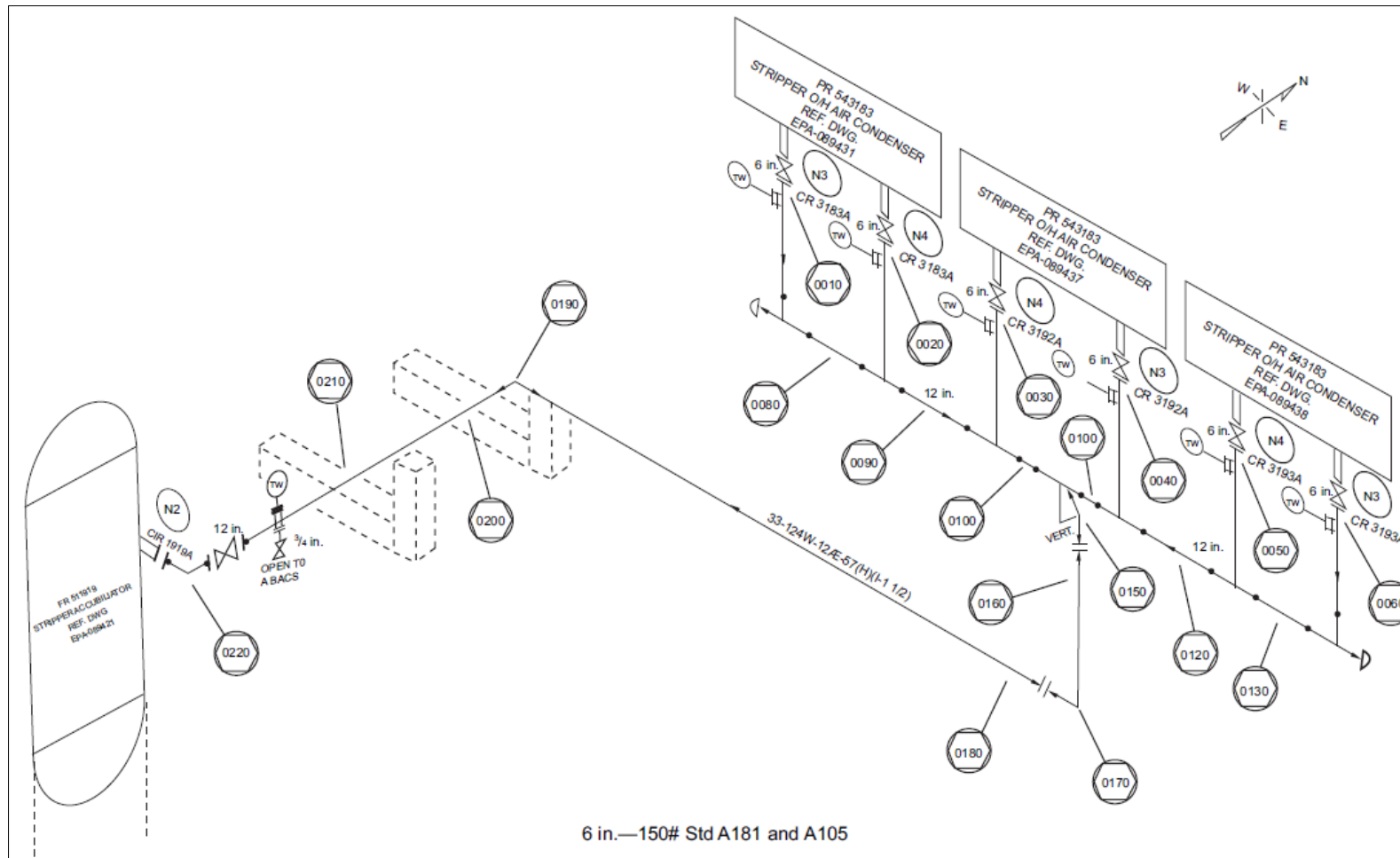
**Fuente:** Petroamazonas Ep. (Sokoloil, 2009).

## LÍNEA TRANSFERENCIA 8" ESTACIÓN YUCA ESTACIÓN CULEBRA

V.O:		15K605		INF N°		019		PRODUCTO		CRUDO										
FECHA DE INSPECCIÓN		15/3/2016						DIÁMETRO		8" NPS (8 5/8")										
UBICACIÓN		ESTACIÓN YUCA						MATERIAL		AP 5L X42										
CAMPO		BLOQUE 61 AUCA						PRESIÓN DE TRABAJO (psi)		800 PSI										
DESCRIPCIÓN		INICIA EN ESTACIÓN YUCA CENTRAL ÁREA DE BOMBAS DE TRANSFERENCIAS EN BRIDA CIEGA Y FINALIZA INSPECCIÓN UT EN ESTACIÓN CULEBRA						TEMPERATURA (°F)		104 F°										
TIPO DE LÍNEA		TRANSFERENCIA						LONGITUD TOTAL (m)		16795,00										
								PAG:		2 DE 5										
DETALLE DEL TRAMO	TRAMO N°	NPS (in)	SECCIÓN	LONG. TRAMO (m)	ABSCISA (m)	NODOS	ESPEORES MEDIDOS (in)				Espeor min (in)	ESPEOR NOMINAL (in)	LÍMITE DE RETIRO (in)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN (in/año)	VIDA REMANENTE (años)	% DE DESGASTE	MAWP (PSI)	SOPORTE	POLIKEN	
							12H	3H	5H	9H										
31																				
TRAMO	4	8"	1	6,00	0+41	32	0,319	0,318	0,319	0,321	0,318	0,312	0,322	0,110	0,0002	>15	1%	2231	MH	-
						33	0,321	0,313	0,321	0,318	0,313		0,322	0,110	0,0005	>15	3%	2196		
						34	0,321	0,325	0,312	0,321	0,312		0,322	0,110	0,0005	>15	3%	2183		
						35					0,312		0,322	0,110	0,0005	>15	3%	2183		
						36					0,314		0,322	0,110	0,0004	>15	2%	2203		
						37					0,313		0,322	0,110	0,0005	>15	3%	2196		
						ENTERRADO														
3																				
TRAMO	5	8"	1	7,00	0+135	38					0,306	0,303	0,322	0,110	0,0008	>15	5%	2146	MH	-
						39					0,303		0,322	0,110	0,0010	>15	6%	2125		
						40					0,305		0,322	0,110	0,0009	>15	5%	2133		
						41					0,310		0,322	0,110	0,0006	>15	4%	2174		
						42					0,313		0,322	0,110	0,0005	>15	3%	2196		
						43					0,308		0,322	0,110	0,0007	>15	4%	2160		
						44					0,308		0,322	0,110	0,0007	>15	4%	2160		
46																				
						47	0,321	0,314	0,321	0,322	0,314		0,322	0,110	0,0004	>15	2%	2203		
						48	0,319	0,321	0,322	0,321	0,319		0,322	0,110	0,0002	>15	1%	2238		
						49	0,322	0,318	0,321	0,321	0,318		0,322	0,110	0,0002	>15	1%	2231		
						50	0,321	0,311	0,316	0,313	0,311		0,322	0,110	0,0006	>15	3%	2182		

Figura 3. Informe de Inspección mediante ultrasonido año 2016.

Fuente: Petroamazonas Ep. (SETE, 2016)



**Figura 4.** Segmentación Dinámica.

**Fuente:** API 574 (Institute, 2009).

### Diseño de trabajo:

**Tabla 1.** Operacionalización de la variable Independiente: Integridad Mecánica del ducto.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes de Investigación	Técnicas e Instrumentos
<p>Integridad Mecánica:</p> <p>Es una filosofía que tiene por objeto garantizar la operación segura de los equipos estáticos mediante el análisis de <b>datos de construcción</b> y <b>datos de inspección</b> para la programación del mantenimiento o reemplazo oportuno, previniendo fallas o potenciales riesgos que ocasionen afectaciones a personas, instalaciones o al medio ambiente.</p>	<p>Datos de construcción de la tubería.</p> <p>Datos de inspección</p>	<p>Espesor para presión de operación.</p> <p>Espesor estructural</p> <p>Espesor requerido para el servicio.</p> <p>Espesor inicial de las paredes de la tubería (inicio de operación de la tubería)</p> <p>Espesor actual de las paredes de la tubería (Inspección 2016)</p>	<p>¿Cuál es el espesor según la presión de operación?</p> <p>¿Cuál es el espesor estructural de la tubería?</p> <p>¿Cuál es el espesor mínimo requerido para el servicio de transferencia de crudo?</p> <p>¿Cuál es el espesor inicial de la tubería (inicio de operación)?</p> <p>¿Cuál es el espesor actual de la tubería (inspección 2016)?</p>	<p>T– Observación.</p> <p>I - Toma de datos</p> <p>T–Análisis de registros.</p> <p>I – Códigos API 570, API 574 y ASME B31.4</p> <p>I – Reportes de inspección.</p>

**Elaborado por:** Alex Herrera



**Tabla 2.** Operacionalización variable dependiente: vida útil de la tubería.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes de Investigación	Técnicas e Instrumentos
<p>Vida útil o Vida remanente: Es el <b>ciclo de vida del activo</b> expresado en años que se lo obtiene mediante la <b>evaluación de datos</b> de la velocidad de corrosión.</p>	Datos de evaluación	Velocidad de corrosión	¿Cuál es la velocidad de corrosión por año de la tubería?	<p>T –Análisis de los códigos API 570 y ASME B31.4</p> <p>I –Códigos API 570, API 574 , ASME B31.4</p>
	Ciclo de vida del activo	Vida útil en años	¿Cuál es el tiempo de vida útil de la tubería?	<p>T –Análisis de los códigos API 570 y ASME B31.4</p> <p>I –Códigos API 570, API 574 , ASME B31.4</p>

**Elaborado por:** Alex Herrera

### Procedimientos para la obtención y análisis de datos:

**Tabla 3.** Tabla de recolección de datos

Preguntas básicas	Explicación.
1.- ¿Para qué?	Para llegar a los objetivos de la investigación
2.- ¿De qué personas u objetos?	Tubería de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del Campo Auca
3.- ¿Sobre qué aspecto?	Estudio de la integridad mecánica y su incidencia en la vida útil de la tubería según la norma API 570
4. ¿Quién, quiénes?	Alex Herrera
5. ¿Cuándo?	Septiembre 2016 – marzo 2017
6. ¿Dónde?	Campo Auca operado por Petroamazonas Ep.
7. ¿Cuántas veces?	Las que sean necesarias
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Análisis de registros
9. ¿Con qué?	Reportes de inspección y códigos API 570, API 574, ASMEB 31.4
10. ¿En qué situación?	Situación normal de operación de la tubería

**Elaborado por:** Alex Herrera

### Hipótesis:

La integridad mecánica del ducto de transferencia de petróleo Yuca - Culebra incide en la vida útil de la tubería.

### Señalamiento de Variables:

#### Variable Independiente:

Integridad mecánica del ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra.

#### Variable Dependiente:

Vida útil de la tubería.

### CAPITULO III

#### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La muestra de 359 tramos de la tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra, tomada de los reportes de inspección de los años 2009 y 20016 se analiza mediante:

1. Evaluación de integridad mecánica.
2. Cálculo de la velocidad de corrosión.
3. Cálculo de la vida útil.

La Tabla 4 contiene los datos técnicos del ducto de transferencia que sirven para el análisis de integridad, velocidades de corrosión y vida útil (vida remanente) según lo estipulado en el código de inspección de tuberías en servicio API 570.

**Tabla 4.** Datos técnicos del ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra.

Periodo de evaluación enero diciembre del 2016	
Producto transportado	Petróleo
Función	Tubería de transferencia
Presión de operación	900 PSI
Longitud	16 Km
Diámetro	8 inch / 6 inch
Material	API 5L Grado B
Espesor nominal	0,322 / 0,280 inch
Esfuerzo admisible ASME B31.4	35.000 PSI
Año de inspección anterior	01 de septiembre del 2009
Vida remanente calculada 2009	11,360 años
Tasa de corrosión (reporte 2009)	0.006 inch por año
Espesor mínimo medido 2009	0.185 inch
Año de inspección actual	15 de marzo del 2016

**Fuente:** Petroamazonas Ep. (SETE, 2016), (Sokoloil, 2009)

**Elaborado por:** Alex Herrera

## **1. Evaluación de Integridad Mecánica:**

Generalmente las tuberías deben ser reparadas o reemplazadas cuando la tubería alcanza el espesor mínimo requerido.

El espesor mínimo requerido para el servicio es el mayor espesor entre el espesor de presión de operación y el espesor mínimo estructural. Los siguientes pasos deben ser seguidos para determinar el espesor mínimo requerido en punto de monitoreo de corrosión.

**PASO 1** Cálculo del espesor para la presión de operación.

**PASO 2** Espesor mínimo estructural / usar Tabla 6 de API 574

**PASO 3** Selección del mínimo espesor necesario para el servicio.

### **PASO 1. Cálculo del espesor para la presión de operación:**

Según el código para Sistemas de Tuberías de transporte de hidrocarburos y otros líquidos ASME B31.4, el espesor de pared para la presión de operación interna  $t$  para tuberías de acero es la siguiente:

$$(1) \quad t = \frac{P_i D}{2SE}$$

Dónde:

$t$  = espesor de pared para la presión de operación calculado en inch.

$D$  = diámetro externo de la tubería, inch.

$P_i$  = presión manométrica interna de operación, PSI

$S$  = valor de tensión admisible aplicable, PSI, de acuerdo a la siguiente formula.

$$(2) \quad S = F \times E \times \text{Resistencia mínima de la tubería a la fluencia.}$$

Dónde:

F = factor basado en el espesor nominal de la pared de la tubería, al establecer este factor se ha tomado en cuenta la holgura y se ha dejado una tolerancia para la falta de espesor y la máxima profundidad permisible de imperfecciones previstas en las especificaciones aprobadas por el código.

El valor de F que se usa en el presente código no deberá ser mayor que 0.72. Cuando se indique el servicio o la ubicación, el usuario de este código puede elegir usar el factor F menor que 0.72

E = factor de la junta soldada definida en la Tabla 5.

Resistencia mínima de la tubería a la fluencia es 35.000 PSI, se toma este dato de la Tabla 5 de acuerdo al material de la tubería, en este caso la especificación de la tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra es API 5L Grado B.

**Tabla 5.** Ejemplos de tensiones admisibles como referencia en sistemas de tuberías dentro del alcance del código ASME B31.4

Table 403.2.1-1 Tabulation of examples of Allowable Stresses for Reference Use in Piping Systems Within the Scope of This Code				
Specification	Grade	Specified Min. Yield Strength, psi (Mpa)	Weld joint factor, E	Allowable Stress Value, S, -20°F to 250°F (-30°C to 120°C). Psi (Mpa)
Seamless				
API 5L	A25	25.000 (172)	1,00	18.000 (124)
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	A	30.000 (241)	1,00	21.000 (149)
<b>API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106</b>	<b>B</b>	<b>35.000 (241)</b>	1,00	25.000 (174)

**Fuente:** Código ASME B31.4 (ENGINEERS, 2009)

En la Tabla 6 se presenta un resumen de la Tabla 4 y la Tabla 5, con los datos necesarios para realizar el cálculo del espesor a la presión de operación (t).

**Tabla 6.** Datos para el cálculo del espesor para la presión interna de la tubería de transferencia Yuca – Culebra.

Periodo de evaluación año 2016			
Descripción	Símbolo	Datos	Unidades
Presión interna de operacion	Pi	900	PSI
Diámetro externo	D <sub>1</sub>	8 5/8	inch
Diámetro externo	D <sub>2</sub>	6 5/8	inch
Tensión admisible	S	35.000	PSI
Factor de soldadura	E	1	-
Factor de operación	F	0.72	-

**Fuente:** Petroamazonas Ep. (SETE, 2016)

**Elaborado por:** Alex Herrera

Con los datos de la Tabla 6, se realiza el cálculo del espesor mínimo requerido para la presión de operación en las tuberías de 8 y 6 pulgadas del ducto de transferencia Yuca – Culebra del Campo Auca.

Cálculo de espesor tubería 8 inch

$$t = \frac{Pi D1}{2SE}$$

$$S = 0.72 \times 1 \times 35.000 \text{ [PSI]}$$

$$S = 25.200 \text{ [PSI]}$$

$$t = \frac{900 \text{ [PSI]} \times 8,625 \text{ [inch]}}{2 \times 25.200 \text{ [PSI]} \times 1}$$

$$t = 0,154 \text{ [inch]}$$

Cálculo espesor tubería 6 inch

$$t = \frac{Pi D2}{2SE}$$

$$S = 0.72 \times 1 \times 35.000 \text{ [PSI]}$$

$$S = 25.200 \text{ [PSI]}$$

$$t = \frac{900 \text{ [PSI]} \times 6,625 \text{ [inch]}}{2 \times 25.200 \text{ [PSI]} \times 1}$$

$$t = 0,118 \text{ [inch]}$$

Del cálculo realizado para obtener el espesor de la pared de la tubería para la presión de operación se tiene: 0,154 inch como espesor de pared para tuberías de 8 inch de diámetro y 0,118 inch de espesor de pared para tuberías de 6 inch de diámetro.

## **PASO 2. Espesor estructural:**

Determinar espesor mínimo estructural / usar Tabla 7 (Tabla 6 de API 574) o cálculos de ingeniería.

Según API 574 párrafo: 11.1.3 Espesor mínimo estructural. El propietario o usuario en sus instalaciones, puede establecer sus valores estructurales o usar los valores predeterminados en la Tabla 6 del código API 574.

**Tabla 7.** Table 6 – Minimum Thicknesses for Carbon and Low-alloy Steel Pipe.

<b>NPS</b>	<b>Default Minimum Structural Thickness for Temperatures &lt; 400 F (205 C) in. (mm)</b>	<b>Minimum Alert Thickness for Temperatures &lt; 400 F (205 C) in. (mm)</b>
1/2 to 1	0.07 (1.8)	0.08 (2.0)
1 1/2	0.07 (1.8)	0.09 (2.3)
2	0.07 (1.8)	0.10 (2.5)
3	0.08 (2.0)	0.11 (2.8)
4	0.09 (2.3)	0.12 (3.1)
6 to 18	0.11 (2.8)	0.13 (3.3)
20 to 24	0.12 (3.1)	0.14 (3.6)

**Fuente:** API 574 (Institute, Inspection Practices for Piping System Components, 2009)

La tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca se encuentra construida con tuberías de 6 y 8 inch. La Tabla 7 recomienda para las tuberías de 6 a 18 inch (columna NPS) tomar el valor de 0,110 inch como espesor mínimo estructural.

## **PASO 3. Selección del mínimo espesor necesario para el servicio:**

Según API 570 (párrafo 7.3 Required Thickness Determination) el espesor requerido para el servicio de una tubería, es el mayor valor entre, el espesor para la presión de operación (Paso 1) y el espesor mínimo estructural (Paso 2). API

574 provee de información sobre cálculos de espesor para la presión de operación y espesores estructurales.

Según API 574 párrafo 11.1.4 cuando una tubería alcanza el espesor mínimo requerido para el servicio debe reemplazarse o repararse.

En la Tabla 8 se realiza una comparación entre el espesor para la presión de operación (Paso 1) y el espesor estructural (Paso 2) para obtener el espesor mínimo requerido para la tubería de transferencia Yuca - Culebra del Campo Auca (Paso 3) con los siguientes resultados:

- Espesor de pared de 0,154 inch para tuberías de 8 inch de diámetro.
- Espesor de pared de 0,118 inch para tuberías de 6 inch de diámetro.

**Tabla 8.** Espesor mínimo requerido para el ducto de transferencia Yuca – Culebra del Campo Auca.

	Paso 1	Paso 2	Paso 3
NPS	Espesor para la presión de operación [inch]	Espesor Estructural [inch]	Mínimo espesor requerido [inch]
6	0.118	0.110	<b>0.118</b>
8	0.154	0.110	<b>0.154</b>

Elaborado por: Alex Herrera

## 2. Cálculo de Velocidad de corrosión:

Para el cálculo de la velocidad de corrosión son necesarios los siguientes datos:

- Espesor inicial.
- Espesor actual (año 2016)
- Años de servicio de la tubería



**Espesor inicial (t inicial):**

Para la obtención del espesor inicial se toma el espesor nominal de la tubería en inch en la misma ubicación del  $t_{\text{actual}}$ , y es el espesor antes de exponerse la tubería a ambientes corrosivos.

La Tabla 9, muestra que el espesor inicial de la tubería de 6 inch de diámetro es de 0,280 inch y el espesor inicial de la tubería de 8 inch es de 0,322 inch. Estos valores son utilizados para el cálculo de la velocidad de corrosión en la tabla del Anexo 1.

**Tabla 9.** Espesor nominal tuberías del ducto de transferencia Yuca – Culebra.

DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA [ inch]	ESPESOR NOMINAL [ inch]
6	0,280
8	0,322

**Elaborado por:** Alex Herrera

**Espesor actual (t actual ):**

Los datos de espesor actual de pared de la tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca se toman de la última inspección de ultrasonido; en este caso la realizada el 15 de marzo del 2016. Los datos para el cálculo de la tasa de corrosión y la vida remanente se toman de acuerdo a los datos reportados en las abscisas que coinciden en los reportes del año 2009 y 2016.

Entonces:

La LT, tasa de corrosión (velocidad de corrosión) en un circuito de tuberías de acuerdo al código API 570 debe ser calculado con la siguiente formula.

$$Tasa\ de\ corrosión(LT) = \frac{t\ inicial - t\ actual}{tiempo\ [años] entre\ t\ inicial\ y\ t\ actual}$$

Estas fórmulas aplican un enfoque estadístico para evaluar las tasas de corrosión y los cálculos de vida restante en el sistema de tuberías. Se debe tener cuidado para asegurar que el tratamiento estadístico de los resultados refleje el estado real de los diversos componentes de la tubería.

Como dato referencial para el cálculo de la velocidad de corrosión (tasa de corrosión) La Tabla 10, muestra que el Tramo 27 del ducto de transferencia de petróleo Yuca - Culebra del Campo Auca en el año de inicio de operación (año 1986) la tubería de 8 inch de diámetro tiene el espesor inicial de 0,322 inch. Además indica que el espesor actual de la tubería medido en el Tramo 27 mediante ultrasonido en el año 2016 es de 0,243 inch.

**Tabla 10.** Datos para el cálculo de la tasa de corrosión del ducto de transferencia Yuca – Culebra; tramo 27.

Datos	Referencia [año]	Coordenada [m]	Espesor mínimo medido [inch]
t inicial [año de funcionamiento de la tubería]	1986	1.764	0,322
t actual [año de inspección de la tubería]	2016	1.768	0,243

**Elaborado por:** Alex Herrera

$$Tasa\ de\ corrosión(LT) = \frac{t\ inicial - t\ actual}{tiempo\ [años] entre\ t\ inicial\ y\ t\ actual}$$

$$Tasa\ de\ corrosión(ST) = \frac{0,322\ [inch] - 0,243\ [inch]}{30\ años}$$

$$Tasa\ de\ corrosión(ST) = 0,0026\ \left[\frac{inch}{año}\right]$$

### 3. Cálculo de la vida útil:

Según el código API 570, la vida remanente del sistema de tuberías debe calcularse con la siguiente formula:

$$Vida\ remanente\ (años) = \frac{t_{actual} - t_{requerido}}{tasa\ de\ corrosion\ [inch\ por\ año]}$$

Dónde:

$t_{actual}$  = es el espesor actual en inch, medido en el momento de la inspección en una ubicación o componente determinado, como lo estipula en el párrafo 5.6 (CMLs).

$t_{requerido}$  = es el espesor requerido en inch en la misma ubicación o componente del  $t_{actual}$ ; calculada por las fórmulas de operación para la tubería (ejemplo presión y estructural).

En la Tabla 11, contiene un resumen de los datos necesarios para el cálculo de la vida remanente de la tubería en el Tramo 27:

- Espesor actual (espesor medido en el año 2016)
- Espesor requerido para el servicio (Espesor del análisis de integridad mecánica).
- Velocidad de corrosión (tasa de corrosión).

**Tabla 11.** Datos para el cálculo de la tasa de corrosión del ducto de transferencia Yuca – Culebra del Campo Auca; Tramo 27.

Datos	Espesor mínimo medido [inch]
t actual	0,243
t requerido	0,154
Tasa de corrosión (LT)	0,0026

**Elaborado por:** Alex Herrera

$$Vida\ remanente\ (años) = \frac{0,243\ [inch] - 0,154[inch]}{0.0026\ [inch\ por\ año]}$$

$$Vida\ remanente\ (años) = 33,8\ [años]$$

La vida remanente en el tramo 27 de la tubería es de 33,8 años.

El mismo proceso se repite para los demás puntos de la muestra de acuerdo al procedimiento recomendado de la norma API 570, obteniéndose los resultados del Anexo 1.

Se presentan en la Tabla 12, los resultados de la evaluación de los puntos más bajos de espesor de pared de la tubería presentados en los reportes de inspección de los años 2009 y 2016.

**Tabla 12.** Resumen de evaluación de integridad, velocidad de corrosión y vida útil ducto de transferencia Yuca – Culebra (puntos bajos).

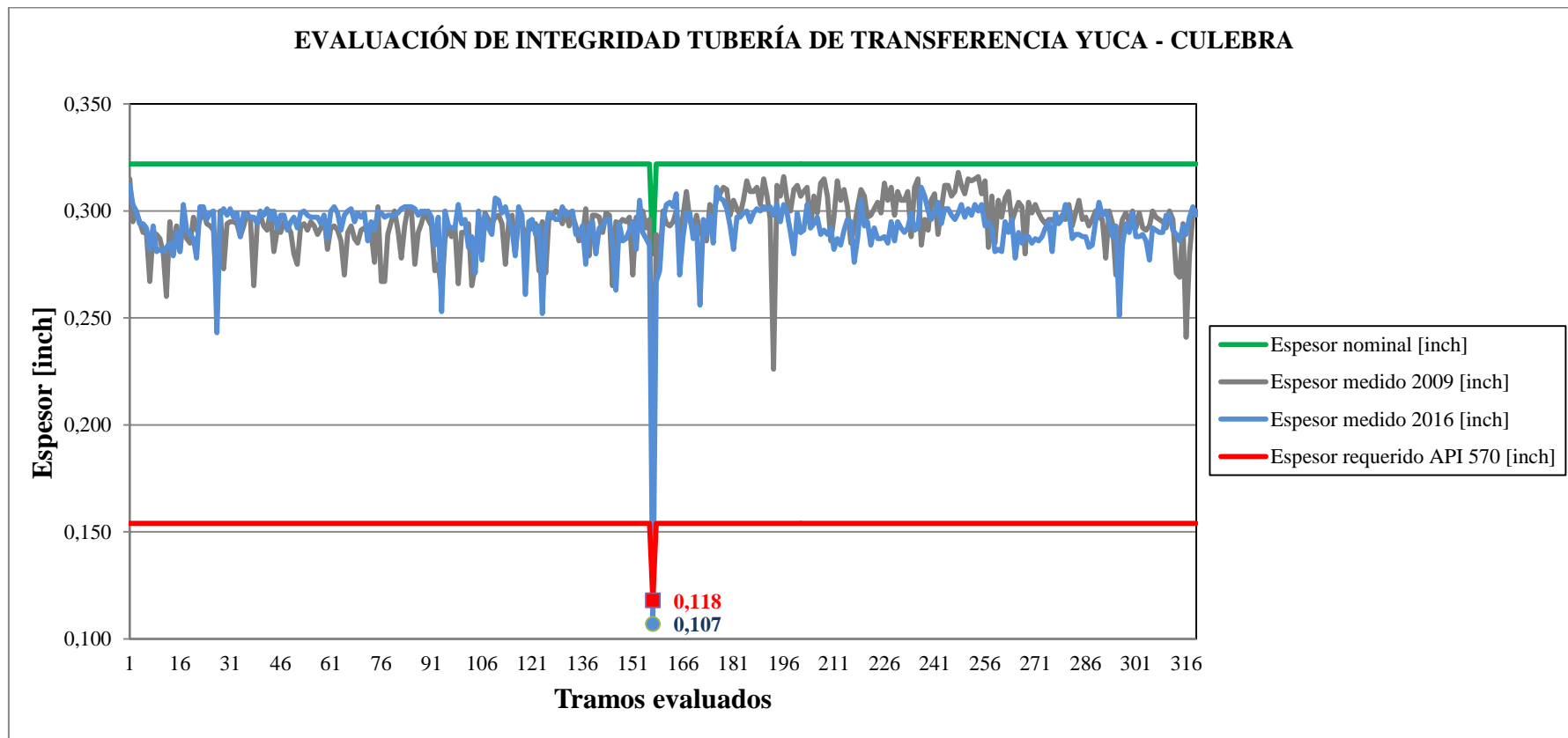
Tramo	Diámetro [inch]	Espesor nominal [inch]	Abscisa [m]	Espesor medido 2009 [inch]	Abscisa [m]	Espesor medido 2016 [inch]	% de pérdida de espesor 2016	Espesor requerido API 570 [inch]	Evaluación de integridad API 570	Velocidad de corrosión [inch/año]	Vida útil [años]	VIDA ÚTIL API 570 [AÑOS]
1	8	0,322	0	0,315	0	0,312	3%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0003	474,0	>5
27	8	0,322	1769	0,258	1768	0,243	25%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0026	33,8	>5
94	8	0,322	5818	0,262	5818	0,253	21%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0023	43,0	>5
119	8	0,322	7321	0,288	7321	0,261	19%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0020	52,6	>5
124	8	0,322	7420	0,295	7420	0,252	22%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0023	42,0	>5
146	8	0,322	8276	0,295	8276	0,263	18%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0020	55,4	>5
157	6	0,280	8622	0,185	8638	0,107	62%	0,118	NO APTO PARA EL SERVICIO	0,0058	-1,91	-1,9
158	8	0,322	8657	0,289	8658	0,267	17%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0018	61,6	>5
171	8	0,322	9255	0,290	9255	0,256	20%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0022	46,4	>5
193	8	0,322	10174	0,226	10179	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
296	8	0,322	15368	0,288	15367	0,251	22%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0024	41,0	>5
316	8	0,322	16650	0,241	16649	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
319	8	0,322	16795	0,300	16795	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5

**Elaborado por:** Alex Herrera.

En la **Figura 5** se muestra la evaluación de integridad mecánica de la tubería mediante cuatro líneas de diferente color que representan:

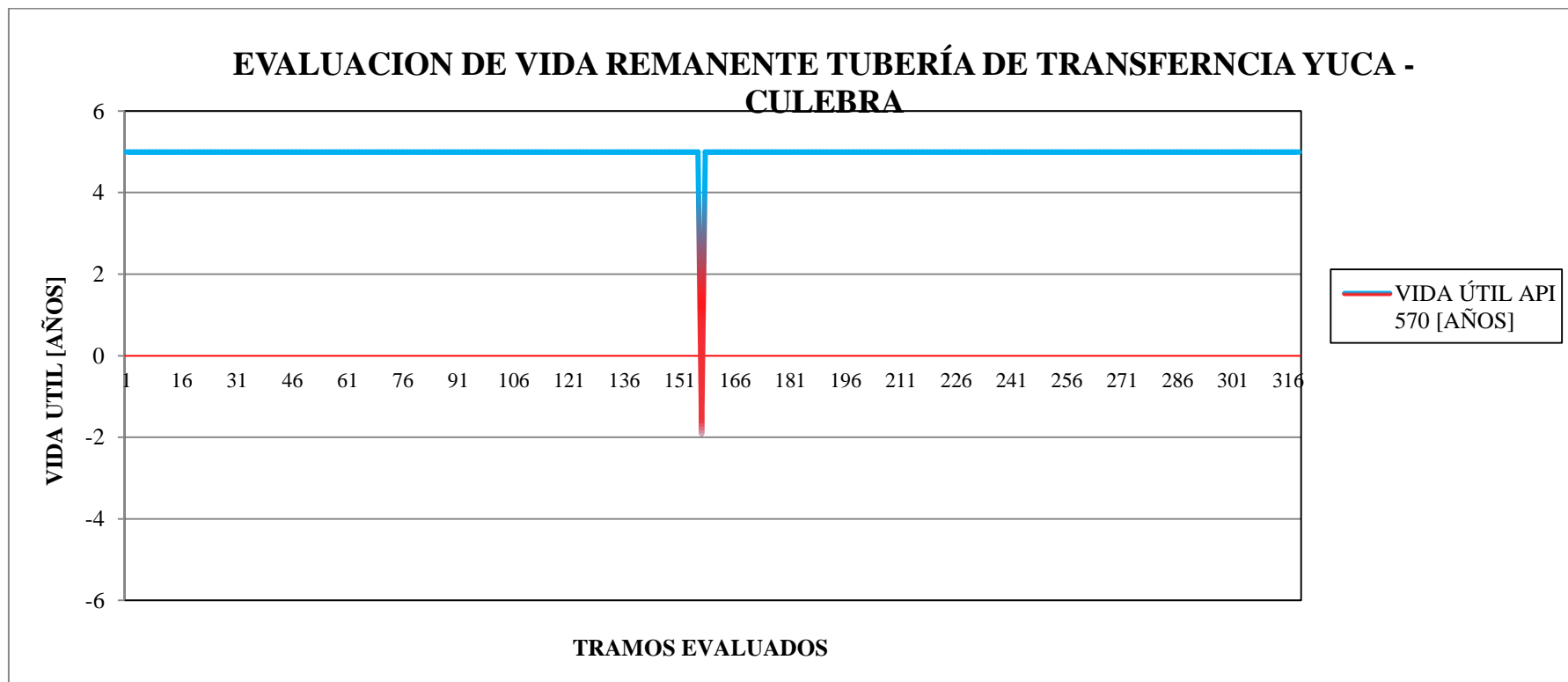
- Línea de color verde: representa el espesor nominal de la tubería al inicio de la operación del ducto según el código para tuberías nuevas de acero al carbón API 5L.
- Línea de color Gris: representa los espesores de pared de la tubería medidos en el año 2009.
- Línea de color azul: representa los espesores de pared de la tubería del año 2016.
- La línea de color rojo, es el espesor mínimo requerido para la operación segura del ducto, este valor es obtenido mediante el procedimiento propuesto por el código para inspección de tubería en servicio API 574. Cualquier línea cercana o por debajo de la línea roja, representa un defecto en la integridad mecánica de la tubería que requiere ser intervenido.

La **Figura 6** muestra la evaluación de vida útil de la tubería con valores mayores y menores a la próxima inspección a realizarse en 5 años (próxima inspección programada en el año 2019) los valores menores a los 5 años requieren de una intervención inmediata para disminuir el riesgo de ocurrencia de un derrame



**Figura 5.** Evaluación de integridad del ducto de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca.

Elaborado por: Alex Herrera S.



**Figura 6.** Evaluación de vida útil del ducto de transferencia de crudo Yuca - Culebra del Campo Auca.

Elaborado por: Alex Herrera S.



### Evaluación de tramos críticos

Mediante el análisis de la Figura 5, que presenta la evaluación de integridad mecánica de la tubería de una forma gráfica, se analiza cuál de los tramos de la tubería de transferencia Yuca – Culebra no cumplen con el espesor mínimo requerido de la Tabla 8, obteniendo el siguiente resultado.

Número de tramos críticos:	1
Identificación del tramo crítico:	157.
Coordenadas del tramo crítico:	8.622[m.]
Diámetro externo de la tubería crítica:	6,625 [inch]
Material:	API 5L Grado B.
Tensión admisible [S]:	35.000 [PSI]
Espesor nominal tramo crítico:	0,280 [inch]
Espesor actual tramo crítico (2016):	<b>0,107 [inch]</b>
Presión de operación:	900 [PSI]

Cálculo del espesor mínimo requerido tramo crítico.

$$t = \frac{P_i D}{2SE}$$

$$S = 0.72 \times 1 \times 35.000 \text{ [PSI]}$$

$$S = 25.200 \text{ [PSI]}$$

$$t = \frac{900 \text{ [PSI]} \times 6,625 \text{ [inch]}}{2 \times 25.200 \text{ [PSI]} \times 1}$$

$$\underline{\underline{t = 0,118 \text{ [inch]}}}$$

El espesor actual de las paredes de la tubería en el tramo 157 identificado como crítico es de 0,107 inch, menor al espesor mínimo requerido de 0,118 inch mostrado en las etiquetas de la Figura 5.

Cálculo de la velocidad de corrosión:

$$Tasa\ de\ corrosión(LT) = \frac{t\ inicial - t\ actual}{tiempo\ [años] entre\ t\ inicial\ y\ t\ actual}$$

$$Tasa\ de\ corrosión(ST) = \frac{0,280\ [inch] - 0,107\ [inch]}{30\ años}$$

$$Tasa\ de\ corrosión(ST) = 0,0058\ [\frac{inch}{año}]$$

La velocidad de corrosión del tramo 157 es de 5,8 mils por año (mpy)

Cálculo de la vida útil [vida remanente]

$$Vida\ remanente\ (años) = \frac{t\ actual - t\ requerido}{tasa\ de\ corrosion\ [inch\ por\ año]}$$

$$Vida\ remanente\ (años) = \frac{0.107[inch] - 0.118[inch]}{0.005\ [inch\ por\ año]}$$

$$Vida\ remanente\ (años) = -1,9\ [años]$$

El resultado del cálculo indica que la vida útil de la tubería es - **1,9** años.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Análisis:**

De acuerdo al estudio realizado:

Según el código para inspección de tuberías API 574, el espesor de presión de operación calculado para las paredes de las tuberías es de 0,154 inch en tuberías de 8 inch diámetro y de 0,118 inch para tuberías de 6 inch de diámetro (cálculos del Paso 1, evaluación de integridad mecánica).

Según las recomendaciones de los códigos API 570 y API 574, el espesor mínimo estructural requerido para la tubería de 8 y 6 inch de diámetro es de 0,110 inch (Tabla 7. Paso 2, espesor estructural).

Para el servicio de transporte de petróleo en el ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca a una presión de 900 PSI, hasta una temperatura de 100 °F, el espesor mínimo requerido en las paredes de la tubería con diámetro de 8 inch es de **0,154** inch, y para la tubería con diámetro de 6 inch es de **0,118** inch, valores representados en la Figura 5, por la línea de color rojo.

El espesor inicial de las paredes de la tubería API 5L Grado B (línea de color verde Figura 5) con el que fue construido el ducto en el año 1986 es de 0,322 inch para las tuberías de 8 inch y de 0,280 inch para las tuberías con diámetro de 6 inch (Tabla 4, espesor nominal).

El espesor de las paredes de la tubería medido mediante ultrasonido en marzo del 2016 (espesor actual líneas de color azul, Figura 5) reporta las siguientes novedades:

- En el tramo 27 de 8 inch de diámetro abscisa 1769 metros, se ubica el espesor mínimo medido de 0,243 inch (superior al límite de retiro).
- El espesor mínimo medido a lo largo de la tubería con diámetro de 6 inch es de 0,107 inch (inferior al límite de retiro).

La mayor velocidad de corrosión en el ducto de transferencia de petróleo Yuca - Culebra es de 0,0058 inch por año (5 mils por año), presente en el tramo 157 de tubería de 6 inch de diámetro.

La vida remanente del ducto de transferencia Yuca - Culebra según la evaluación realizada en el tramo 157 abscisa 8+638 metros es de -1,91 años, lugar donde se presenta el mayor porcentaje de desgaste mostrado en la Figura 6 en el punto bajo la línea de color rojo.

### **Interpretación de resultados:**

Según los criterios de los códigos API 570, API 574 y ASME B31.4 (evaluación de integridad mecánica) mecánicamente el espesor mínimo requerido en las paredes de la tubería para el servicio de transporte de petrolero en el ducto de transferencia Yuca - Culebra es de 0,154 inch para la tubería de 8 inch y de 0,118 inch para tuberías de 6 inch, cualquier valor bajo la línea de color rojo de la Figura 5 requiere de una reparación o reemplazo.

Desde su inicio de operación en el año 1986 el ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca ha cumplido 30 años de servicio, actualmente transfiere 15.000 barriles de crudo diario desde las estaciones Yuca, Yulebra, Anaconda y Culebra hasta el oleoducto Auca – Sacha, su última inspección fue

realizada en el año 2016 , los valores de espesor de pared medidos se encuentran representados por la línea de color azul de la Figura 5 y de acuerdo a esta evaluación se tiene las siguientes novedades:

- El tramo 27 presenta un desgaste del 25% con relación al espesor inicial de 0.322 inch (línea de color verde Figura 5).
- A lo largo de la trayectoria del ducto de transferencia Yuca – Culebra, el Tramo 157 presenta el mayor desgaste, con una pérdida de espesor de 62%, defecto que requiere atención por tener un espesor menor al mínimo requerido para el servicio de transporte de petróleo (punto más bajo en la línea de color azul de la Figura 5).

Debido a la alta tasa de corrosión del Tramo 157 abscisa 8+638 metros, la vida remanente de la tubería calculada es de -1,91 años (punto más bajo de la Figura 6) lo que indica que la tubería tiene 0 años de vida restante y no es apta para el servicio de transporte de petróleo según las recomendaciones de los códigos API 570 y API 574.

#### **Contraste con otras investigaciones:**

Del estudio realizado por los Señores Michael Patricio Campoverde Nolivos, Marco Francisco León Dunia (2010), con el tema: “Diseño E Implementación De Un Modelo De Plan De Integridad De Ductos En El Bloque 15 de Petroamazonas Ep.”, se analizó la metodología y criterios de los códigos de inspección de ductos utilizados para el cálculo de las velocidades de corrosión interna, por presentar un estudio basado en normas y estándares internacionales que son utilizados para la regulación de transporte de fluidos de alta peligrosidad.

El trabajo del señor Jorge Yasksetin Castillo (2011) “Análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico” de la

Universidad de Piura, se estudió para identificar el procedimiento utilizado para el cálculo del espesor mínimo que satisface las presiones de operación en un ducto.

Del estudio realizado por señor Geovany, Tixi (2013): “Análisis de integridad física del poliducto Libertad-Manta de Petrocomercial mediante el envío de la herramienta chanco inteligente”, de la Universidad Tecnológica Equinoccial, se analizó para identificar que método se puede utilizar para calcular en nuestro estudio del espesor mínimo requerido, la velocidad de corrosión y la vida útil.

### **Verificación de la hipótesis:**

Debido a que la vida útil de la tubería se calcula en función de la velocidad de corrosión, y la velocidad de corrosión es determinada en base a los espesores de pared de la tubería, estos tres valores se consideran indicadores de la integridad mecánica del ducto, se puede afirmar que las dos variables de investigación guardan relación, por lo tanto se necesita determinar la correlación entre ellas.

Para identificar esta relación entre las variables, en el presente estudio se usa el coeficiente de Pearson.

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

$$r = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{N} - \bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{N} - \bar{X}^2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{N} - \bar{Y}^2}}$$

**Tabla 13.** Escala de interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

**Elaborado por:** Suarez Ibujés Mario Orlando (Orlando, 2011).

**Tabla 14.** Resumen de sumatorias para el cálculo del coeficiente de Pearson

$\Sigma X_1$	$\Sigma Y_1$	$\Sigma X_1.Y_1$	$\Sigma X_1^2$	$\Sigma Y_1^2$
93,276	50668,0	14989,588	27,336	9065579,678

**Elaborado por:** Alex Herrera S.

Media marginal de X:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{93,276}{319}$$

$$\bar{X} = 0,292$$

Media marginal de y:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{N}$$

$$\bar{Y} = \frac{50668}{319}$$

$$\bar{Y} = 158,834$$

Desviación típica marginal de x:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{N} - \bar{X}^2}$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{27,336}{319} - 0,292^2}$$

$$\sigma_X = 0,020$$

Desviación típica marginal de y:

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{N} - \bar{Y}^2}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{9065579,678}{319} - 158,834^2}$$

$$\sigma_Y = 56,484$$



Covarianza:

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{N} - \bar{X}\bar{Y}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{14989,588}{319} - 0,292 * 158,834$$

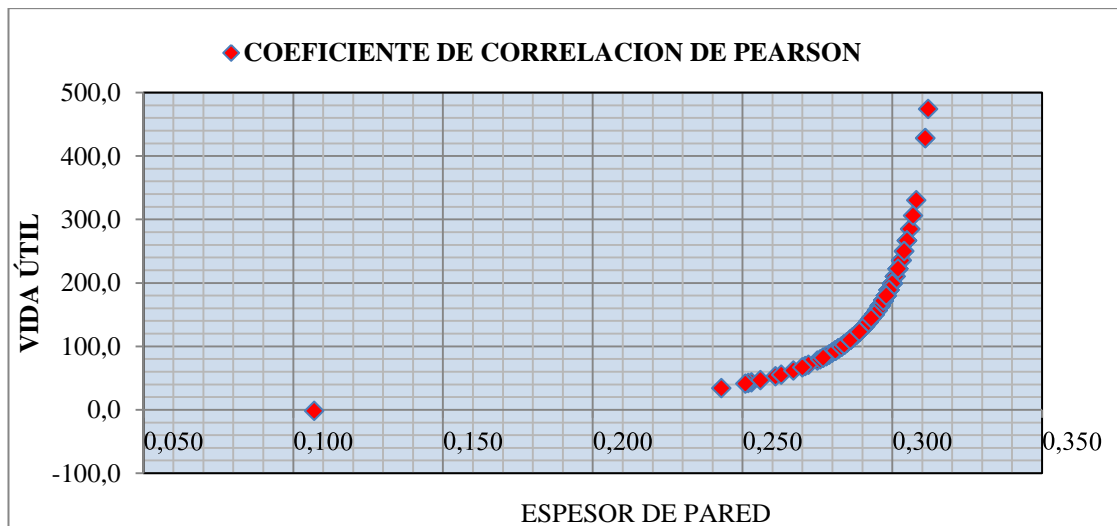
$$\sigma_{xy} = 0,609$$

Coefficiente de correlación de Pearson:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

$$r = \frac{0,609}{0,020 \cdot 56,484}$$

$$r = 0,539$$



**Figura 7.** Evaluación gráfica del coeficiente de correlación de Pearson.

**Elaborado por:** Alex Herrera S.

Según el valor calculado de 0,539 y la escala de interpretación del coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 13), el grado de asociación entre nuestras variables de estudio (integridad mecánica y vida útil) indica que existe un grado de correlación positiva moderada, por tanto mientras decrezca el valor de integridad de la tubería (espesor de pared) menor será la vida remanente del ducto de transferencia Yuca Culebra del Campo Auca.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones:**

En el tramo 157 existe un valor de espesor de 0,107 inch, según los criterios de los códigos API 570, API 574 y ASME B31.4 para la tubería de 6 inch el espesor mínimo requerido para el servicio de transferencia de petróleo en la tubería Yuca - Culebra es de 0.118 inch, por tanto la integridad mecánica del ducto se encuentra afectada y no representa la seguridad necesaria para continuar en servicio.

La vida remanente de la tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca es de 0 años, presenta una velocidad de corrosión de 0,005 inch al año y valores de espesor de pared menores al mínimo requerido para el servicio de transporte de petróleo.

Mediante el análisis de tramos críticos de la tubería de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca, se demostró la integridad mecánica del tramo 157 se encuentra comprometida, por tener espesores menores al mínimo requerido para el servicio.

**Recomendaciones:**

Establecer la metodología de reparación aplicable en el tramo 157 de la tubería de transferencia Yuca Culebra del Campo Auca para recuperar la integridad mecánica del ducto

Trabajar con los departamentos del Campo Auca para identificar en el tramo 157 el mecanismo de falla y las causas que produjeron la disminución de espesor acelerada, con el objetivo de formular un plan de mejora continua que ayude a incrementar la vida remanente del ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca.

Programar con los departamentos del Campo Auca, la reparación o reemplazo del tramo 157 de 6 inch en función de la capacidad de almacenamiento de las facilidades de producción, con el objetivo de disminuir el riesgo operativo y evitar posibles fugas de petróleo, daños ambientales y pérdidas de producción.

## **Bibliografía:**

- Castillo, J. (2011). Analisis de la integridad mecanica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico. Univesidad de Piura.
- Echeverría. (2015). Corrosión y Protección en Aguas. Fundamentos de la corrosión. Matanzas: Facultad de Ingenierías. Universidad de Matanzas.
- El País. (26 de Octubre de 1994). El País. (El País) Recuperado el 01 de 10 de 2016, de Sociedad:  
[http://elpais.com/diario/1994/10/26/sociedad/783126004\\_850215.html](http://elpais.com/diario/1994/10/26/sociedad/783126004_850215.html)
- Engineers, T. A. (2009). Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. ASME B31.4. New York, EEUU: The American Society of Mechanical Engineers.
- ENGINEERS, T. A. (2009). Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. ASME B31.4. New York: ASME.
- Ep Petroecuador. (17 de septiembre de 2015). Ep Petroecuador. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de OLEODUCTO TRANSECUTORIANO CUARENTA Y TRES AÑOS TRANSPORTANDO LA ECONOMÍA DEL PAÍS.:  
<http://www.eppetroecuador.ec/?p=2683>
- Gómes, V. (2014). Derrame de petróleo por rotura de tubo. El Universo.
- Gonzales, A. (2010). Historia Universal.com. Recuperado el 24 de 10 de 2016, de <http://www.historiacultural.com/2010/07/segunda-revolucion-industrial.html>
- Herrera, A. (26 de julio de 2016). wikiloc. Recuperado el noviembre de 2016, de  
<https://es.wikiloc.com/wikiloc/spatialArtifacts.do?event=setCurrentSpatialArtifact&id=14122683>
- Institute, A. P. (2009). Inspection Practices for Piping System Components. API 574, Third edition. Washington: API publishing services.
- Institute, A. P. (2009). Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems. API 570, Third edition. Washington: API Publishing Services.

- Merino, J. P. (2009). Definición de. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://definicion.de/abscisa/>
- Muhlbauer, W. K. (2004). Pipeline Risk Management Manual. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- NOLIVOS, M. P. (2010). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE PLAN DE INTEGRIDAD DE DUCTOS EN EL BLOQUE 15 DE PETROAMAZONAS EP. Quito: Universidad Politécnica Nacional.
- Orlando, S. I. (9 de diciembre de 2011). Coeficiente de correlación de Karl Pearson. Recuperado el 21 de noviembre de 2016, de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/766>
- Reliability and Risk Management, S. (s.f.). [www.reliarisk.com](http://www.reliarisk.com). Recuperado el 10 de noviembre de 2016, de [http://reliarisk.com/r2m/mariangela/\(Microsoft%20Word%20-%20Inspecci\\_363n%20Basada%20en%20Riesgo%20\\_IBR\\_-Contenido.doc\).pdf](http://reliarisk.com/r2m/mariangela/(Microsoft%20Word%20-%20Inspecci_363n%20Basada%20en%20Riesgo%20_IBR_-Contenido.doc).pdf)
- SETE. (2016). MEDICIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL (UT\_ME). Petroamazonas Ep., Mantenimiento. Francisco de Orellana: SETE.
- Sokoloil. (2009). Inspección visual y medición de espesores de tubería en el D. A. Petroproducción, Mantenimiento. Francisco de Orellana: Sokoloil.
- Tixi, G. (2013). Análisis de integridad física del poliducto Libertad-Manta de Petrocomercial mediante el envío de la herramienta chanco inteligente. Universidad Tecnológica Equioccial.

## **Anexos:**

**Anexo 1:** Evaluación de integridad, velocidad de corrosión y vida útil ducto de transferencia de petróleo Yuca – Culebra del Campo Auca.

Tramo	Diámetro [inch]	Espesor nominal [inch]	Abscisa [m]	Espesor medido 2009 [inch]	Abscisa [m]	Espesor medido 2016 [inch]	% de pérdida de espesor 2016	Espesor requerido API 570 [inch]	Evaluación de integridad API 570	Velocidad de corrosión [inch/año]	Vida útil [años]	VIDA ÚTIL API 570 [AÑOS]
1	8	0,322	0	0,315	0	0,312	3%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0003	474,0	>5
2	8	0,322	135	0,295	135	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
3	8	0,322	142	0,300	142	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
4	8	0,322	163	0,295	165	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
5	8	0,322	179	0,290	179	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
6	8	0,322	245	0,290	244	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
7	8	0,322	311	0,267	311	0,282	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	96,0	>5
8	8	0,322	350	0,290	349	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
9	8	0,322	382	0,289	381	0,281	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	92,9	>5
10	8	0,322	432	0,287	457	0,282	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	96,0	>5
11	8	0,322	493	0,280	493	0,281	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	92,9	>5
12	8	0,322	524	0,260	526	0,283	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	99,2	>5
13	8	0,322	556	0,295	557	0,285	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	106,2	>5
14	8	0,322	601	0,280	602	0,279	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	87,2	>5
15	8	0,322	646	0,293	648	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
16	8	0,322	747	0,281	746	0,281	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	92,9	>5

**Continúa...**



...Viene.

17	8	0,322	771	0,296	770	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
18	8	0,322	791	0,287	791	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
19	8	0,322	826	0,285	831	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
20	8	0,322	928	0,297	924	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
21	8	0,322	1420	0,291	1421	0,278	14%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0015	84,5	>5
22	8	0,322	1513	0,296	1511	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
23	8	0,322	1558	0,300	1559	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
24	8	0,322	1582	0,294	1577	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
25	8	0,322	1651	0,293	1654	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
26	8	0,322	1707	0,291	1708	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
27	8	0,322	1769	0,258	1768	0,243	25%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0026	33,8	>5
28	8	0,322	1802	0,300	1805	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
29	8	0,322	1831	0,273	1831	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
30	8	0,322	1876	0,294	1879	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
31	8	0,322	1927	0,295	1933	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
32	8	0,322	1978	0,295	1971	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
33	8	0,322	1999	0,294	1996	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
34	8	0,322	2042	0,288	2053	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
35	8	0,322	2067	0,293	2066	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
36	8	0,322	2152	0,299	2153	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
37	8	0,322	2182	0,296	2181	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
38	8	0,322	2241	0,265	2241	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
39	8	0,322	2437	0,294	2437	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5

Continúa...

...Viene.

40	8	0,322	2480	0,298	2480	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
41	8	0,322	2505	0,293	2515	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
42	8	0,322	2534	0,291	2544	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
43	8	0,322	2641	0,300	2651	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
44	8	0,322	2699	0,281	2690	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
45	8	0,322	2816	0,291	2816	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
46	8	0,322	2864	0,290	2864	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
47	8	0,322	2914	0,295	2914	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
48	8	0,322	2979	0,293	2978	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
49	8	0,322	3005	0,290	3004	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
50	8	0,322	3093	0,280	3094	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
51	8	0,322	3124	0,275	3125	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
52	8	0,322	3142	0,293	3152	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
53	8	0,322	3210	0,294	3220	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
54	8	0,322	3282	0,291	3283	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
55	8	0,322	3342	0,295	3341	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
56	8	0,322	3363	0,293	3363	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
57	8	0,322	3384	0,289	3385	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
58	8	0,322	3407	0,292	3407	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
59	8	0,322	3436	0,298	3436	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
60	8	0,322	3476	0,282	3476	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
61	8	0,322	3585	0,292	3585	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
62	8	0,322	3596	0,293	3596	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5

Continúa...

...Viene.

63	8	0,322	3615	0,291	3614	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
64	8	0,322	3632	0,286	3633	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
65	8	0,322	3719	0,270	3719	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
66	8	0,322	3785	0,290	3786	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
67	8	0,322	3880	0,293	3878	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
68	8	0,322	3918	0,287	3915	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
69	8	0,322	3938	0,285	3938	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
70	8	0,322	4004	0,291	3993	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
71	8	0,322	4021	0,292	4017	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
72	8	0,322	4101	0,290	4098	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5
73	8	0,322	4254	0,290	4246	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
74	8	0,322	4396	0,276	4396	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
75	8	0,322	4933	0,302	4938	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
76	8	0,322	4951	0,267	4956	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
77	8	0,322	5005	0,267	5010	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
78	8	0,322	5034	0,289	5039	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
79	8	0,322	5072	0,295	5067	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
80	8	0,322	5105	0,300	5103	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
81	8	0,322	5277	0,291	5278	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
82	8	0,322	5359	0,278	5359	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
83	8	0,322	5370	0,293	5370	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5

Continúa...

...Viene.

63	8	0,322	3615	0,291	3614	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
64	8	0,322	3632	0,286	3633	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
65	8	0,322	3719	0,270	3719	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
66	8	0,322	3785	0,290	3786	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
67	8	0,322	3880	0,293	3878	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
68	8	0,322	3918	0,287	3915	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
69	8	0,322	3938	0,285	3938	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
70	8	0,322	4004	0,291	3993	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
71	8	0,322	4021	0,292	4017	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
72	8	0,322	4101	0,290	4098	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5
73	8	0,322	4254	0,290	4246	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
74	8	0,322	4396	0,276	4396	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
75	8	0,322	4933	0,302	4938	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
76	8	0,322	4951	0,267	4956	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
77	8	0,322	5005	0,267	5010	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
78	8	0,322	5034	0,289	5039	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
79	8	0,322	5072	0,295	5067	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
80	8	0,322	5105	0,300	5103	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
81	8	0,322	5277	0,291	5278	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
82	8	0,322	5359	0,278	5359	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
83	8	0,322	5370	0,293	5370	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5

Continúa...

...Viene.

84	8	0,322	5390	0,302	5389	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
85	8	0,322	5434	0,300	5434	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
86	8	0,322	5469	0,275	5469	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
87	8	0,322	5551	0,290	5551	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
88	8	0,322	5606	0,294	5606	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
89	8	0,322	5633	0,300	5632	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
90	8	0,322	5651	0,296	5652	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
91	8	0,322	5678	0,293	5678	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
92	8	0,322	5739	0,272	5740	0,284	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	102,6	>5
93	8	0,322	5790	0,275	5791	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
94	8	0,322	5818	0,262	5818	0,253	21%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0023	43,0	>5
95	8	0,322	5865	0,287	5863	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
96	8	0,322	5913	0,293	5913	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
97	8	0,322	5953	0,288	5953	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
98	8	0,322	5969	0,293	5969	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
99	8	0,322	6041	0,266	6041	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
100	8	0,322	6090	0,290	6090	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
101	8	0,322	6240	0,290	6240	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
102	8	0,322	6297	0,294	6297	0,283	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	99,2	>5
103	8	0,322	6351	0,265	6351	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
104	8	0,322	6427	0,274	6427	0,271	16%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0017	68,8	>5

Continúa...

...Viene.

105	8	0,322	6510	0,297	6509	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
106	8	0,322	6559	0,290	6558	0,277	14%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0015	82,0	>5
107	8	0,322	6626	0,299	6626	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
108	8	0,322	6796	0,296	6794	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
109	8	0,322	6876	0,294	6872	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
110	8	0,322	6905	0,297	6904	0,306	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0005	285,0	>5
111	8	0,322	6933	0,298	6933	0,305	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	266,5	>5
112	8	0,322	7102	0,294	7102	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
113	8	0,322	7143	0,275	7143	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
114	8	0,322	7163	0,295	7162	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
115	8	0,322	7202	0,298	7202	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
116	8	0,322	7223	0,280	7223	0,279	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	87,2	>5
117	8	0,322	7271	0,296	7269	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
118	8	0,322	7297	0,294	7298	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
119	8	0,322	7321	0,288	7321	0,261	19%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0020	52,6	>5
120	8	0,322	7348	0,291	7347	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
121	8	0,322	7363	0,292	7369	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
122	8	0,322	7378	0,294	7378	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
123	8	0,322	7398	0,272	7398	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
124	8	0,322	7420	0,295	7420	0,252	22%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0023	42,0	>5
125	8	0,322	7452	0,271	7453	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5

Continúa...

...Viene.

126	8	0,322	7480	0,296	7480	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
127	8	0,322	7506	0,297	7506	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
128	8	0,322	7527	0,300	7528	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
129	8	0,322	7545	0,299	7544	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
130	8	0,322	7605	0,294	7600	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
131	8	0,322	7644	0,300	7644	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
132	8	0,322	7666	0,293	7664	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
133	8	0,322	7683	0,298	7682	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
134	8	0,322	7700	0,293	7700	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
135	8	0,322	7757	0,286	7757	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
136	8	0,322	7784	0,287	7783	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
137	8	0,322	7805	0,301	7805	0,275	15%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0016	77,2	>5
138	8	0,322	7879	0,279	7879	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
139	8	0,322	7951	0,298	7950	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
140	8	0,322	7975	0,298	7975	0,280	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	90,0	>5
141	8	0,322	7991	0,297	7991	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
142	8	0,322	8081	0,290	8081	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
143	8	0,322	8113	0,299	8112	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
144	8	0,322	8219	0,298	8218	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
145	8	0,322	8243	0,265	8243	0,285	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	106,2	>5
146	8	0,322	8276	0,295	8276	0,263	18%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0020	55,4	>5

Continúa...

...Viene.

147	8	0,322	8300	0,294	8299	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
148	8	0,322	8341	0,296	8343	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5
149	8	0,322	8402	0,295	8403	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
150	8	0,322	8429	0,297	8429	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
151	8	0,322	8455	0,270	8454	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
152	8	0,322	8469	0,297	8471	0,282	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	96,0	>5
153	8	0,322	8513	0,293	8518	0,305	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	266,5	>5
154	8	0,322	8539	0,300	8540	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
155	8	0,322	8565	0,292	8564	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
156	8	0,322	8595	0,296	8594	0,284	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	102,6	>5
157	6	0,280	8622	0,185	8638	0,107	62%	0,118	NO APTO PARA EL SERVICIO	0,0058	-1,91	-1,9
158	8	0,322	8657	0,289	8658	0,267	17%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0018	61,6	>5
159	8	0,322	8697	0,275	8701	0,272	16%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0017	70,8	>5
160	8	0,322	8712	0,300	8712	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
161	8	0,322	8772	0,294	8782	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
162	8	0,322	8814	0,293	8815	0,304	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	250,0	>5
163	8	0,322	8846	0,295	8845	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
164	8	0,322	8904	0,300	8890	0,308	4%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0005	330,0	>5
165	8	0,322	8946	0,286	8948	0,270	16%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0017	66,9	>5
166	8	0,322	8972	0,298	8973	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
167	8	0,322	9017	0,309	9017	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5

Continúa...



...Viene.

168	8	0,322	9091	0,296	9091	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
169	8	0,322	9156	0,290	9154	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
170	8	0,322	9194	0,298	9195	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
171	8	0,322	9255	0,290	9255	0,256	20%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0022	46,4	>5
172	8	0,322	9350	0,288	9351	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
173	8	0,322	9395	0,286	9394	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
174	8	0,322	9440	0,303	9440	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
175	8	0,322	9477	0,299	9477	0,285	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	106,2	>5
176	8	0,322	9527	0,305	9527	0,311	3%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0004	428,2	>5
177	8	0,322	9561	0,308	9567	0,306	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0005	285,0	>5
178	8	0,322	9606	0,311	9606	0,305	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	266,5	>5
179	8	0,322	9626	0,310	9626	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
180	8	0,322	9667	0,298	9667	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
181	8	0,322	9702	0,305	9702	0,282	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	96,0	>5
182	8	0,322	9763	0,301	9763	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
183	8	0,322	9793	0,298	9793	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
184	8	0,322	9868	0,305	9868	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
185	8	0,322	9903	0,314	9903	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
186	8	0,322	9948	0,309	9948	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
187	8	0,322	9967	0,309	9967	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
188	8	0,322	9987	0,311	9987	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5

Continúa...

...Viene.

189	8	0,322	10018	0,303	10018	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
190	8	0,322	10044	0,315	10044	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
191	8	0,322	10097	0,307	10097	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
192	8	0,322	10129	0,296	10129	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
193	8	0,322	10174	0,226	10179	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
194	8	0,322	10239	0,312	10240	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
195	8	0,322	10301	0,307	10301	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
196	8	0,322	10338	0,316	10338	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
197	8	0,322	10361	0,305	10361	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
198	8	0,322	10382	0,300	10382	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
199	8	0,322	10429	0,310	10429	0,280	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	90,0	>5
200	8	0,322	10444	0,312	10444	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
201	8	0,322	10504	0,307	10504	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
202	8	0,322	10542	0,309	10542	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
203	8	0,322	10569	0,311	10569	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
204	8	0,322	10596	0,292	10596	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
205	8	0,322	10644	0,307	10643	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
206	8	0,322	10701	0,299	10698	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
207	8	0,322	10737	0,313	10735	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
208	8	0,322	10775	0,315	10775	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
209	8	0,322	10786	0,307	10785	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5

Continúa...

...Viene.

210	8	0,322	10811	0,286	10810	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
211	8	0,322	10831	0,297	10829	0,282	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	96,0	>5
212	8	0,322	10883	0,314	10883	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
213	8	0,322	10924	0,305	10924	0,284	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	102,6	>5
214	8	0,322	10954	0,310	10954	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
215	8	0,322	10977	0,302	10975	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
216	8	0,322	11018	0,285	11018	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
217	8	0,322	11088	0,292	11088	0,276	14%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0015	79,6	>5
218	8	0,322	11119	0,302	11119	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
219	8	0,322	11159	0,310	11159	0,305	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	266,5	>5
220	8	0,322	11190	0,307	11196	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
221	8	0,322	11256	0,297	11257	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
222	8	0,322	11331	0,298	11336	0,284	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	102,6	>5
223	8	0,322	11360	0,301	11360	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
224	8	0,322	11397	0,304	11397	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
225	8	0,322	11446	0,299	11446	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
226	8	0,322	11494	0,313	11495	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
227	8	0,322	11517	0,305	11518	0,285	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	106,2	>5
228	8	0,322	11541	0,311	11542	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
229	8	0,322	11585	0,298	11584	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5
230	8	0,322	11627	0,309	11625	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5

Continúa...

...Viene.

231	8	0,322	11651	0,305	11654	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
232	8	0,322	11720	0,305	11721	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
233	8	0,322	11817	0,309	11817	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
234	8	0,322	11840	0,288	11840	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
235	8	0,322	11870	0,311	11870	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
236	8	0,322	11900	0,315	11899	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
237	8	0,322	11930	0,284	11930	0,311	3%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0004	428,2	>5
238	8	0,322	11948	0,296	11948	0,307	5%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0005	306,0	>5
239	8	0,322	12002	0,291	12002	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
240	8	0,322	12030	0,305	12030	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
241	8	0,322	12105	0,308	12105	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
242	8	0,322	12155	0,289	12155	0,304	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	250,0	>5
243	8	0,322	12201	0,301	12201	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
244	8	0,322	12215	0,312	12215	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
245	8	0,322	12249	0,312	12249	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5
246	8	0,322	12274	0,307	12275	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
247	8	0,322	12309	0,309	12308	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
248	8	0,322	12332	0,318	12332	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
249	8	0,322	12347	0,312	12347	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
250	8	0,322	12403	0,308	12403	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
251	8	0,322	12455	0,315	12453	0,301	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	210,0	>5

Continúa...

...Viene.

252	8	0,322	12510	0,314	12510	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
253	8	0,322	12552	0,315	12550	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
254	8	0,322	12570	0,316	12572	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
255	8	0,322	12703	0,308	12703	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
256	8	0,322	12719	0,314	12717	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
257	8	0,322	12774	0,283	12774	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
258	8	0,322	12813	0,307	12814	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
259	8	0,322	12835	0,285	12835	0,281	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	92,9	>5
260	8	0,322	12898	0,305	12898	0,282	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	96,0	>5
261	8	0,322	12918	0,297	12917	0,281	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	92,9	>5
262	8	0,322	12993	0,306	12993	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
263	8	0,322	13009	0,309	13009	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
264	8	0,322	13079	0,295	13080	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
265	8	0,322	13106	0,300	13106	0,278	14%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0015	84,5	>5
266	8	0,322	13153	0,304	13153	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
267	8	0,322	13156	0,302	13157	0,285	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	106,2	>5
268	8	0,322	13187	0,280	13187	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
269	8	0,322	13322	0,304	13312	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
270	8	0,322	13351	0,299	13351	0,285	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	106,2	>5
271	8	0,322	13384	0,303	13384	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
272	8	0,322	13440	0,299	13440	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5

Continúa...

...Viene.

273	8	0,322	13554	0,296	13554	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
274	8	0,322	13641	0,294	13641	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
275	8	0,322	13689	0,296	13689	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
276	8	0,322	13811	0,296	13821	0,281	13%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0014	92,9	>5
277	8	0,322	13869	0,294	13878	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
278	8	0,322	13998	0,295	14005	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
279	8	0,322	14052	0,298	14052	0,296	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	163,8	>5
280	8	0,322	14130	0,296	14129	0,303	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	235,3	>5
281	8	0,322	14217	0,303	14216	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
282	8	0,322	14300	0,293	14300	0,287	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	114,0	>5
283	8	0,322	14333	0,299	14333	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
284	8	0,322	14468	0,305	14468	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
285	8	0,322	14523	0,296	14523	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
286	8	0,322	14573	0,297	14575	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
287	8	0,322	14627	0,293	14627	0,283	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	99,2	>5
288	8	0,322	14773	0,296	14773	0,284	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	102,6	>5
289	8	0,322	14896	0,300	14896	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5
290	8	0,322	14920	0,297	14920	0,304	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0006	250,0	>5
291	8	0,322	14976	0,296	14977	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
292	8	0,322	15013	0,278	15013	0,300	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	199,1	>5
293	8	0,322	15030	0,300	15031	0,295	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	156,7	>5

Continúa...

...Viene.

294	8	0,322	15116	0,294	15117	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
295	8	0,322	15253	0,270	15253	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
296	8	0,322	15368	0,288	15367	0,251	22%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0024	41,0	>5
297	8	0,322	15493	0,296	15493	0,284	12%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0013	102,6	>5
298	8	0,322	15653	0,299	15652	0,294	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0009	150,0	>5
299	8	0,322	15682	0,295	15681	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
300	8	0,322	15722	0,300	15722	0,299	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	189,1	>5
301	8	0,322	15949	0,292	15949	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
302	8	0,322	16000	0,299	15999	0,288	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	118,2	>5
303	8	0,322	16016	0,292	16017	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
304	8	0,322	16044	0,291	16042	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5
305	8	0,322	16111	0,293	16111	0,277	14%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0015	82,0	>5
306	8	0,322	16219	0,300	16220	0,292	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	138,0	>5
307	8	0,322	16252	0,297	16252	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
308	8	0,322	16286	0,296	16286	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
309	8	0,322	16316	0,295	16315	0,290	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	127,5	>5
310	8	0,322	16348	0,292	16349	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
311	8	0,322	16395	0,300	16395	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5
312	8	0,322	16415	0,296	16415	0,291	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	132,6	>5
313	8	0,322	16444	0,271	16443	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
314	8	0,322	16477	0,269	16477	0,286	11%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0012	110,0	>5

Continúa...

**...Viene.**

315	8	0,322	16573	0,294	16573	0,293	9%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0010	143,8	>5
316	8	0,322	16650	0,241	16649	0,289	10%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0011	122,7	>5
317	8	0,322	16686	0,280	16686	0,297	8%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	171,6	>5
318	8	0,322	16761	0,298	16761	0,302	6%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0007	222,0	>5
319	8	0,322	16795	0,300	16795	0,298	7%	0,154	APTO PARA EL SERVICIO	0,0008	180,0	>5

**Elaborado por:** Alex Herrera

**Fuente:** Petroamazonas Ep. (Sokoloil, 2009), (SETE, 2016)



**Anexo 2:** Trazado de la tubería de transferencia Yuca - Culebra del Campo Auca (longitud total 16795 m).



**Fuente:** Wikiloc. (Herrera, 2016)

### Anexo 3: Glosario.

**Abscisa:** Se conoce como **abscisa** (vocablo derivado del latín *abscissa*, “cortada”) a una **coordenada de dirección horizontal que aparece en un plano cartesiano rectangular** y que se expresa como la distancia que existe entre un punto y el eje vertical. El denominado **eje de abscisas** representa al eje de coordenadas horizontal. (Merino, 2009)

**Integridad mecánica (IM):** es una filosofía de trabajo que tiene por objeto garantizar que todo equipo de proceso sea diseñado, procurado, fabricado, construido, instalado, operado, inspeccionado, mantenido, y/o reemplazado oportunamente para prevenir fallas, accidentes o potenciales riesgos a personas, instalaciones y al ambiente, todo esto utilizando los criterios basados en data histórica, normas y regulaciones organizacionales, nacionales e internacionales como OSHA, ASME, ANSI, ISO, API, NACE, NOM, entre otras. (Reliability and Risk Management).

**Vida útil o Vida remanente:** Es el período probable, expresado en años que la tubería puede funcionar de acuerdo a los requerimientos de espesor estructural o presión de operación. API 570 (Institute, Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems, 2009)